



**Universidad de Zaragoza**  
**Centro Politécnico Superior**  
**Ingeniería Industrial**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA  
CUBRIR LAS NECESIDADES BÁSICAS EN  
ZONAS EN VÍAS DE DESARROLLO**

**Autor:** Paula Martínez Benito

**Director:** Rodolfo Dufo López

**Ponente:** Ghassan Zubi

Septiembre de 2010

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA CUBRIR LAS NECESIDADES BÁSICAS EN ZONAS EN VÍAS DE DESARROLLO**

## **RESUMEN**

El proyecto consiste en desarrollar un sistema fotovoltaico autónomo puramente solar que produzca suficiente energía para cubrir las necesidades básicas de un hogar en un país en vías de desarrollo, en aquellas zonas donde no tienen acceso a la red eléctrica. Se considerarán necesidades básicas las siguientes: luz, frigorífico, olla de bajo consumo, televisión y otros dispositivos de consumo menor (como la radio, cargadores de móvil o MP3, etc.). Estos mejorarían la calidad de vida de los usuarios de forma considerable.

El objetivo es producir energía de forma asequible, porque el acceso a la electricidad barata o competitiva es la clave para el desarrollo de un país.

En primer lugar se determinan los posibles mercados de la instalación en base a las condiciones solares (la aplicación requiere una fluctuación solar relativamente moderada a lo largo del año, ya que se trata de un sistema puramente solar) y las necesidades locales (habitantes sin acceso a la red eléctrica).

Se fijan los componentes de la instalación, tanto los de generación como los de consumo, de manera que la instalación aumente considerablemente la calidad de vida, minimizando en lo posible los costes de inversión. El sistema de generación constará de un generador fotovoltaico, un regulador de carga, un acumulador y un inversor. El dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos y la batería consiste en hallar un equilibrio entre mantener un coste bajo y minimizar las caídas de carga.

## TABLA DE CONTENIDOS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción.....</b>                                      | <b>3</b>  |
| 1.1 Las energías renovables.....                                 | 3         |
| 1.2 Características de la energía solar fotovoltaica.....        | 3         |
| <b>2. Índice de Desarrollo Humano.....</b>                       | <b>6</b>  |
| <b>3. Índice de acceso a la electricidad.....</b>                | <b>7</b>  |
| <b>4. Producto Interior Bruto.....</b>                           | <b>8</b>  |
| <b>5. Irradiación solar.....</b>                                 | <b>8</b>  |
| <b>6. Electrodomésticos y definición del consumo diario.....</b> | <b>10</b> |
| 6.1 Consejos de utilización.....                                 | 11        |
| 6.2 Consumo diario.....  | 11        |
| <b>7. Sistema fotovoltaico.....</b>                              | <b>13</b> |
| 7.1. Subsistema de captación.....                                | 14        |
| 7.1.1 Fabricantes descartados.....                               | 16        |
| 7.1.2 Otras opciones.....  | 18        |
| 7.2. Subsistema de almacenamiento.....                           | 19        |
| 7.3. Subsistema de regulación.....                               | 21        |
| 7.4. Subsistema de adaptación de corriente.....                  | 22        |
| <b>8. Dimensionamiento según la latitud.....</b>                 | <b>24</b> |
| <b>9. Dimensionamiento según la latitud (HOGA).....</b>          | <b>30</b> |
| 9.1. Descripción de HOGA.....                                    | 30        |
| 9.1.1 Consumo.....   | 33        |
| 9.1.2 Irradiación.....   | 33        |
| 9.1.3 Paneles fotovoltaicos.....                                 | 34        |
| 9.1.4 Baterías.....  | 35        |
| 9.1.5 Inversores.....  | 36        |
| 9.1.6 Equipos auxiliares.....                                    | 36        |
| 9.2. Dimensionamiento de la instalación.....                     | 37        |
| <b>10. Costes.....</b>   | <b>41</b> |
| 10.1 Paneles fotovoltaicos.....                                  | 41        |
| 10.2 Baterías.....   | 42        |
| 10.3 Regulador de carga.....                                     | 42        |
| 10.4 Inversor.....   | 42        |
| 10.5 Modo de compra.....   | 42        |
| <b>11. Conclusiones.....</b>                                     | <b>43</b> |
| <b>12. Índice de anexos.....</b>                                 | <b>44</b> |
| <b>13. Referencias bibliográficas.....</b>                       | <b>76</b> |

# 1. INTRODUCCIÓN

## *1.1 Las energías renovables*

La preocupación por contener de manera racional el consumo de las principales materias primas energéticas cuyas reservas conocidas son relativamente limitadas, y la reducción de la dependencia energética respecto del exterior, se han convertido en prioridades de la política energética, sobre todo en países que poseen escasos recursos de este tipo.

La tecnología de las energías renovables se desarrolló como consecuencia de la urgencia de potenciar el uso de recursos energéticos propios y de diversificar los recursos (materias primas) utilizados.

Más recientemente, la creciente preocupación por el deterioro del medio ambiente, el cambio climático debido al efecto invernadero (generado sobre todo por las emisiones de  $CO_2$  de las combustiones de combustibles fósiles), y el peligro de la energía nuclear de fisión, impulsó todavía más el desarrollo de estas tecnologías.

Las energías renovables no presentan problemas de agotamiento de las reservas y el impacto sobre el medio ambiente es menor que con las energías tradicionales, aunque no nulo.

Pese a todo, la mayor parte de la energía consumida mundialmente es no renovable.

## *1.2 Características de la energía solar fotovoltaica*

La energía solar fotovoltaica presenta unas características que la hacen una de las energías renovables más atractivas.

- No necesita suministro exterior (combustible) y es inagotable a escala humana.
- No es contaminante.
- No necesita agua para la generación de electricidad.
- Ocupación de espacio. No se necesitan grandes cantidades de terreno, aunque se deben evitar las sombras.
- El impacto visual es mínimo.
- Silencioso.
- Aplicación universal (llega a todas partes): esta característica es muy importante, ya que una elevada proporción de la población mundial sigue sin disfrutar de la electricidad. Las instalaciones fotovoltaicas autónomas son fiables y relativamente fáciles de instalar y mantener. El inconveniente está en los elevados precios, aunque económicamente suele ser más rentable que instalar una línea eléctrica.

El objetivo del proyecto es el estudio de la posibilidad de proveer energía eléctrica a hogares en zonas en vías de desarrollo sin acceso a la red, mejorando la calidad de vida y favoreciendo al desarrollo, ya que sin energía eléctrica las personas ocupan su tiempo en tareas exhaustivas como recoger leña y transportar agua. Al utilizar la electricidad, sin embargo, podrían realizar actividades que mejoraran su economía y desarrollo.

El proyecto surge con la idea de entregarles una copia a Ingenieros Sin Fronteras por si les es útil.

Para determinar los potenciales mercados de la instalación se toma como parámetros el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el acceso a la red eléctrica, el Producto Interior Bruto de cada país y la radiación solar.

Inicialmente, se realiza un análisis del Índice de Desarrollo Humano (IDH). Una vez que se han clasificado los países mediante su IDH, se obtienen datos del índice de acceso a la electricidad de cada país, obteniendo así el número de habitantes con acceso a la red eléctrica. Esto estará relacionado con el IDH, ya que probablemente cuanto menor sea el IDH habrá una mayor cantidad de habitantes sin acceso a la red eléctrica.

Es importante conocer el Producto Interior Bruto (PIB) de cada país, para saber de esta forma, si sus habitantes podrían permitirse abonar el coste de la instalación. Aunque cabe mencionar que este parámetro no deja de ser macroeconómico.

Mediante los anteriores datos se conocen aquellos países donde la fotovoltaica aislada supone una solución para suministrar energía eléctrica y en qué medida es asequible esta alternativa. Posteriormente, se determinan las zonas con menores fluctuaciones solares anuales, ya que este criterio permite poner instalaciones puramente solares sin tener que sobredimensionarlas a niveles que aumenten excesivamente su coste.

Se debe tener en cuenta que, al tratarse de una instalación fotovoltaica autónoma, la irradiación solar debe ser relativamente constante a lo largo del año, de otra forma, habría que sobredimensionar mucho la instalación y los costes aumentarían. Es decir, se busca una curva de irradiación solar prácticamente plana a lo largo del año.

Mediante el análisis de los anteriores parámetros quedan definidos los potenciales mercados para este proyecto.

El siguiente paso es definir los electrodomésticos que habrá en la vivienda y su consumo diario, que variará según la época del año.

La instalación se compone de varios dispositivos ya estandarizados y comercializados. Se debe seleccionar la combinación adecuada de módulo fotovoltaico, regulador de carga, batería e inversor, optimizando siempre el coste total de la instalación.

En el caso de los módulos fotovoltaicos se analiza el mercado actual y potencial, ya que están apareciendo nuevas tecnologías y disminuyendo los precios considerablemente. Se debe conseguir una instalación lo más económica posible y con una vida útil aceptable. Se genera una lista de paneles fotovoltaicos de los principales fabricantes, para después hacer una selección de las opciones más económicas que son las interesantes para este proyecto. Se dimensionan los módulos fotovoltaicos para distintas localizaciones a partir de los datos de consumo diario y radiación solar en dicha zona.

El siguiente componente de la instalación a dimensionar es la batería, cuya capacidad debe poder abastecer el consumo energético durante la noche y en situaciones en que se necesite una mayor energía de la que estén generando los paneles. Se tendrá en cuenta la posibilidad de que exista nubosidad varios días seguidos.

El inversor debe ser de potencia nominal similar a la máxima que se necesite suministrar y con la mayor eficiencia posible.

Considerando lo anteriormente mencionado se lleva a cabo el dimensionamiento de las instalaciones para distintas latitudes.

## 2. ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO (IDH)

El IDH es una medición por países elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Se basa en un indicador social estadístico compuesto por tres parámetros: vida larga y saludable, educación y nivel de vida digno. Cuando el IDH indica un país con necesidades básicas no cubiertas, este será un mercado potencial para la instalación fotovoltaica aislada.

El PNUD divide los países en tres grandes grupos:

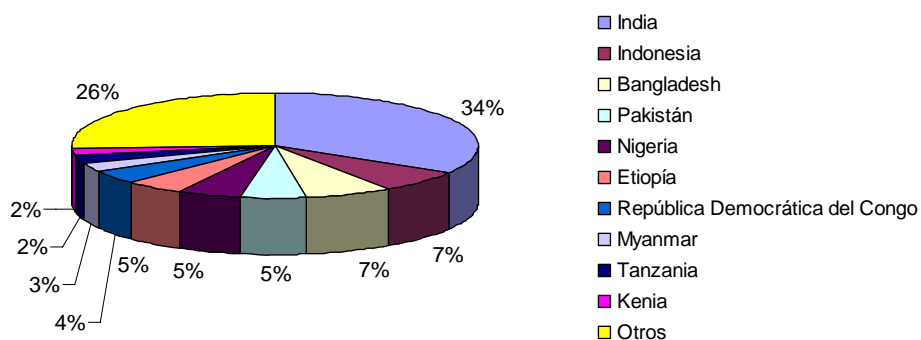
- País con desarrollo humano alto:  $IDH \geq 0.8$
- País con desarrollo humano medio:  $0.5 \leq IDH < 0.8$
- País con desarrollo humano bajo:  $IDH < 0.5$

Utilizando datos de IDH de los años 2000 y 2007 se ha hallado la tendencia de desarrollo de los distintos países, siendo en algunos casos negativa. Esto no es lo normal y puede deberse a cambios políticos en el país. En los países para los cuales no existen datos del 2000 se han utilizado datos del año 2005, de Liberia y Afganistán no hay datos anteriores al 2007.

Mediante la tendencia de desarrollo se puede aproximar en qué año el país será considerado un país desarrollado. En el Anexo I (página 45) se puede observar la lista de países ordenada según en qué año cada país llegará a ser considerado desarrollado.

### 3. ÍNDICE DE ACCESO A LA ELECTRICIDAD

Teniendo en cuenta el índice de acceso a la energía eléctrica (AEE) y la población de cada país, se pueden ordenar los países por el número de habitantes sin acceso a energía eléctrica, obteniendo la distribución de la figura 1.



**Figura 1.** Distribución por países de la población sin acceso a la energía eléctrica.

|  | Población sin AEE [Millones] | Población mundial sin AEE [%] |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| <b>India</b>                           | 519                          | 33,5                          |
| <b>Indonesia</b>                       | 110                          | 7,1                           |
| <b>Bangladesh</b>                      | 106                          | 6,8                           |
| <b>Pakistán</b>                        | 81                           | 5,2                           |
| <b>Nigeria</b>                         | 80                           | 5,2                           |
| <b>Etiopía</b>                         | 72                           | 4,7                           |
| <b>República Democrática del Congo</b> | 65                           | 4,2                           |
| <b>Myanmar</b>                         | 43                           | 2,8                           |
| <b>Tanzania</b>                        | 36                           | 2,4                           |
| <b>Kenia</b>                           | 34                           | 2,2                           |
| <b>Otros</b>                           | 403                          | 26,0                          |

**Tabla 1.** Distribución por países de la población sin acceso a la energía eléctrica.

Como se puede observar, con más detalle en la tabla 1, el mayor porcentaje de habitantes sin acceso a energía eléctrica se encuentra en India, esto la convierte en el principal mercado potencial para este proyecto.

Países como Rusia, Líbano, Turquía y Ucrania se han de tener en cuenta debido a su elevada población. No se han encontrado datos de estos países, pero se puede afirmar que todos ellos poseen un acceso a la energía eléctrica elevado.

En el Anexo II (página 47) se encuentra la clasificación completa de países.



#### **4. PRODUCTO INTERIOR BRUTO (PIB) PER CÁPITA**

El PIB es el valor monetario total de la producción corriente de bienes y servicios de un país durante un periodo (normalmente un trimestre o un año). Es una magnitud de flujo, pues contabiliza sólo los bienes y servicios producidos durante la etapa de estudio.

Se ha tomado el PIB per cápita de aquellos países de los que se tienen datos de acceso a la energía eléctrica. De esta forma, se conocen los países que necesitarían la instalación y que, además, podrían permitírsela.

En el anexo III (página 49) se puede observar una lista de países ordenados según la cantidad de población sin acceso a la energía eléctrica, de mayor a menor. Además, en esta lista se encuentra el PIB per cápita de cada uno de los países.

#### **5. IRRADIACIÓN SOLAR**

Se ha realizado el análisis de irradiación solar para aquellos países con más de cinco millones de habitantes sin acceso a la energía eléctrica.

Al ser una instalación fotovoltaica aislada es muy importante que la irradiación sea relativamente constante a lo largo del año, cuanto menos constante sea, mayor será la sobredimensión a aplicar. Una vez que se tiene la energía media mensual aproximada que se producirá en una determinada localización, se calcula la sobredimensión necesaria para que la energía producida durante el mes peor sea suficiente.

En la tabla 2 se puede observar la lista de países, ordenados de mayor a menor población sin acceso a energía eléctrica, con las respectivas sobredimensiones que habría que aplicar a las instalaciones. La mayor sobredimensión calculada (obsérvese en la tabla 2) es de 1,52 en el sur de Brasil. Esta es una sobredimensión bastante elevada, pero todavía factible sin costes desorbitados, por lo que se deduce que prácticamente en cualquiera de los países que tienen el menor acceso a la energía eléctrica es aplicable la instalación en estudio.

En el Anexo IV (página 50) se detalla el método de cálculo que se ha utilizado para hallar la sobredimensión adecuada de la instalación según su localización.

|  | <b>Población</b><br>[Millones] | <b>AEE</b><br>[%] | <b>Sin AEE</b><br>[Millones] | <b>PIB/per cápita</b><br>[\$] | <b>Radiación anual</b><br>[kWh/Wp] | <b>Zona</b> | <b>Sobredimensión</b> |
|--|--------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------------------|
| <b>India</b>                           | 1166                           | 55,5              | 518,870                      | 2900                          | 1994                               | Norte       | 1,17                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1862                               | Sur         | 1,25                  |
| <b>Indonesia</b>                       | 240                            | 54                | 110,400                      | 3900                          | 1988                               | -           | 1,10                  |
| <b>Bangladesh</b>                      | 156                            | 32                | 106,080                      | 1500                          | 1830                               | -           | 1,20                  |
| <b>Pakistán</b>                        | 176                            | 54                | 80,960                       | 2500                          | 2133                               | Norte       | 1,28                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 2110                               | Sur         | 1,12                  |
| <b>Nigeria</b>                         | 149                            | 46                | 80,460                       | 2300                          | 1510                               | -           | 1,42                  |
| <b>Etiopía</b>                         | 85,2                           | 15                | 72,420                       | 900                           | 1901                               | -           | 1,09                  |
| <b>República Democrática del Congo</b> | 68,7                           | 5,8               | 64,715                       | 300                           | 1510                               | Norte       | 1,12                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1748                               | Sur         | 1,36                  |
| <b>Myanmar</b>                         | 48,1                           | 11,3              | 42,665                       | 1200                          | 1881                               | -           | 1,22                  |
| <b>Tanzania</b>                        | 41                             | 11                | 36,490                       | 1400                          | 1887                               | -           | 1,21                  |
| <b>Kenia</b>                           | 39                             | 14                | 33,540                       | 1600                          | 1663                               | -           | 1,41                  |
| <b>Uganda</b>                          | 32,4                           | 8,9               | 29,516                       | 1300                          | 1605                               | -           | 1,09                  |
| <b>Sudán</b>                           | 41,1                           | 30                | 28,770                       | 2200                          | 1969                               | Norte       | 1,05                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1761                               | Sur         | 1,29                  |
| <b>Afganistán</b>                      | 28,4                           | 7                 | 26,412                       | 800                           | 2030                               | Norte       | 1,63                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 2145                               | Sur         | 1,30                  |
| <b>Mozambique</b>                      | 21,7                           | 6,3               | 20,333                       | 900                           | 1669                               | Norte       | 1,27                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1573                               | Sur         | 1,13                  |
| <b>Nepal</b>                           | 28,6                           | 33                | 19,162                       | 1100                          | 2039                               | -           | 1,29                  |
| <b>Filipinas</b>                       | 98                             | 80,5              | 19,110                       | 3300                          | 1705                               | Norte       | 1,37                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1834                               | Sur         | 1,12                  |
| <b>Madagascar</b>                      | 20,7                           | 15                | 17,595                       | 1000                          | 1769                               | Norte       | 1,39                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1713                               | Sur         | 1,20                  |
| <b>Yemen</b>                           | 23,8                           | 36,2              | 15,184                       | 2500                          | 1890                               | -           | 1,13                  |
| <b>Sudáfrica</b>                       | 49,1                           | 70                | 14,730                       | 10100                         | 1831                               | -           | 1,27                  |
| <b>Burkina Faso</b>                    | 15,7                           | 7                 | 14,601                       | 1200                          | 1536                               | -           | 1,20                  |
| <b>Vietnam</b>                         | 87                             | 84,2              | 13,746                       | 2800                          | 1467                               | Norte       | 1,43                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1859                               | Sur         | 1,14                  |
| <b>Malawi</b>                          | 14,3                           | 7                 | 13,299                       | 800                           | 1709                               | Norte       | 1,33                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1614                               | Sur         | 1,17                  |
| <b>Ghana</b>                           | 23,8                           | 49,2              | 12,090                       | 1500                          | 1475                               | -           | 1,38                  |
| <b>Camboya</b>                         | 14,5                           | 20,1              | 11,586                       | 2000                          | 1921                               | -           | 1,17                  |
| <b>Angola</b>                          | 12,8                           | 15                | 10,880                       | 9000                          | 1638                               | Norte       | 1,12                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1879                               | Sur         | 1,22                  |
| <b>Costa de Marfil</b>                 | 20,6                           | 50                | 10,300                       | 1700                          | 1383                               | -           | 1,49                  |
| <b>Camerún</b>                         | 18,9                           | 47                | 10,017                       | 2300                          | 1698                               | -           | 1,35                  |
| <b>Zambia</b>                          | 11,9                           | 19                | 9,639                        | 1500                          | 1752                               | Norte       | 1,36                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1703                               | Sur         | 1,29                  |
| <b>Senegal</b>                         | 13,7                           | 33                | 9,179                        | 1600                          | 1564                               | -           | 1,19                  |
| <b>Perú</b>                            | 29,5                           | 72,3              | 8,172                        | 8500                          | 1487                               | Norte       | 1,13                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 2201                               | Sur         | 1,13                  |
| <b>China</b>                           | 1339                           | 99,4              | 8,034                        | 6000                          | 1820                               | Norte       | 1,26                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1860                               | Centro      | 1,12                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1405                               | Sur         | 1,47                  |
| <b>Sri Lanka</b>                       | 21,3                           | 66                | 7,242                        | 4400                          | 1834                               | -           | 1,35                  |
|  |                                |                   |                              |                               | 1844                               | Norte       | 1,26                  |

|                  |      |      |       |       |      |        |      |
|------------------|------|------|-------|-------|------|--------|------|
| <b>Brasil</b>    | 199  | 96,5 | 6,965 | 10200 | 1718 | Centro | 1,22 |
|                  |      |      |       |       | 1695 | Sur    | 1,52 |
| <b>Benín</b>     | 8,8  | 22   | 6,864 | 1500  | 1496 | -      | 1,43 |
| <b>Colombia</b>  | 45,6 | 86,1 | 6,338 | 9200  | 1923 | Norte  | 1,13 |
|                  |      |      |       |       | 1505 | Sur    | 1,07 |
| <b>Haití</b>     | 9    | 36   | 5,760 | 1300  | 2115 | -      | 1,29 |
| <b>Marruecos</b> | 34,9 | 85,1 | 5,200 | 4500  | 1615 | Norte  | 1,28 |
|                  |      |      |       |       | 1770 | Sur    | 1,11 |

**Tabla 2.** Lista de países con sus respectivas sobredimensiones para la instalación fotovoltaica.

## 6. ELECTRODOMÉSTICOS Y DEFICIÓN DEL CONSUMO DIARIO

El conjunto de electrodomésticos a alimentar mediante la instalación fotovoltaica consta de bombillas de bajo consumo, nevera, radio, televisión, olla arrocera y cargadores de distintos dispositivos electrónicos (mp3, móvil, etc.).

- 3 bombillas de 15W.
- Nevera: 10W.
- Televisor: 50W.
- Olla arrocera: 500W.
- Cargador: 2W/cargador.
- Radio: 4W.

Los electrodomésticos deben consumir la menor energía posible, sin que su coste resulte un problema para llevar a cabo el proyecto.

Las bombillas más apropiadas son las de bajo consumo, ya que son eficientes y al mismo tiempo económicas. Las de LED poseen una mayor eficiencia, pero el precio aumenta considerablemente y no merece la pena respecto a la mejora en la eficiencia.

Las neveras de máxima eficiencia energética tienen unos costes muy elevados, por tanto, se debe considerar la posibilidad de escoger una nevera con una eficiencia menor, ya que la sobredimensión necesaria del panel fotovoltaico para alimentarla significará un coste menor que el de una nevera más eficiente. También existen neveras que funcionan en continua, pero su coste es demasiado elevado para esta aplicación. El consumo de energía de la nevera seleccionada es de 240Wh/día.

En el caso del televisor, existen modelos de 16 pulgadas que consumen 50W en funcionamiento y 0,9W en Standby por unos 120€, precio bastante económico.

Se ha seleccionado un olla arrocera de 500W de consumo energético, con ella se puede cocinar arroz para cinco personas en cuarenta minutos. Al poseer un termostato en su interior la olla no estará consumiendo energía durante todo el tiempo que esté enchufada, sino cuando sea necesario para mantener una temperatura determinada.

### ***6.1 Consejos de utilización***

Con el propósito de optimizar la instalación sería conveniente que sus propietarios siguieran las siguientes directrices de utilización.

Se debe evitar en lo posible abrir la nevera durante la noche, ya que la pérdida de frío activaría el compresor aumentando el consumo energético.

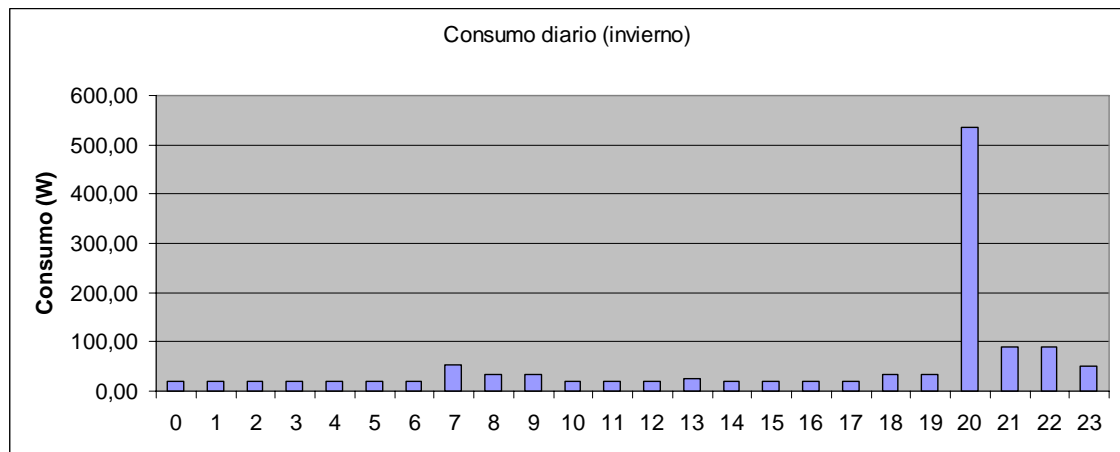
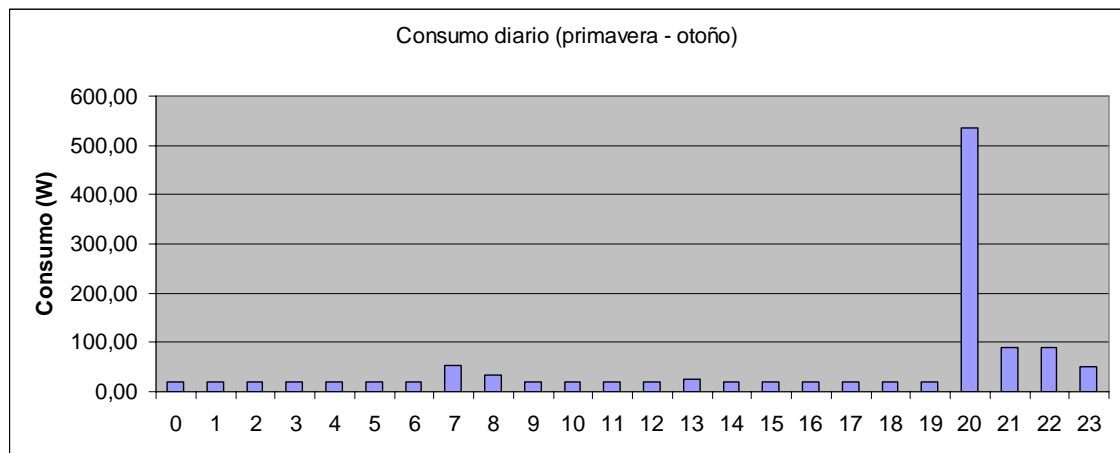
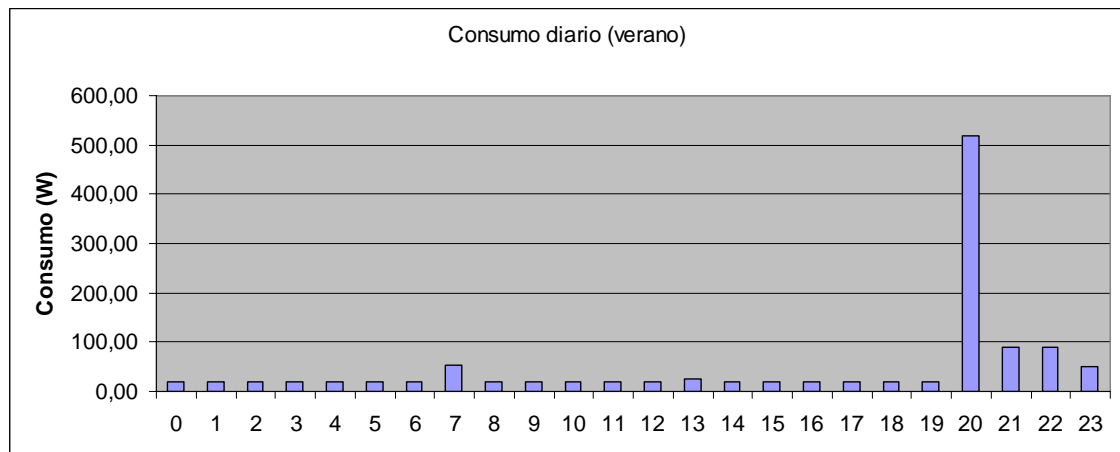
En el caso del televisor y la radio se recomienda la utilización de una regleta que los desconecte durante la noche, eliminando de esta forma el consumo en Standby de estos.

Se recomienda la utilización de la olla arrocera durante el mediodía para no alimentarla solamente a partir de la batería. Antes de su utilización se debe comprobar el estado de carga de la batería, ya que en caso de no poseer la suficiente energía se podría cocinar con madera, sin embargo no se puede dejar sin energía la nevera. Se recomienda también la utilización de los cargadores de dispositivos a mediodía.

A pesar de las anteriores recomendaciones, se harán los cálculos de dimensionamiento para la utilización de la olla y los cargadores por la noche, sobredimensionando de esta forma la instalación.

### ***6.2 Consumo diario***

Se definen tres perfiles de consumo de potencia diario: uno para el invierno, otro para el verano y otro para el otoño y la primavera. El consumo de la nevera, la radio, el televisor, la olla arrocera y los cargadores no varía a lo largo del año, sin embargo, el consumo de las bombillas sí lo hace. En el Anexo V (página 51) se pueden observar las tablas de consumo diario, cuyas gráficas se encuentran a continuación.



En el cálculo de consumo energético diario se debe tener en cuenta que la olla arrocera, a pesar de ser de potencia nominal 500W, no está una hora entera funcionando y posee termostato, por lo que su consumo energético viene a ser de unos 225Wh.

En ninguno de los tres casos el consumo de energía supera 1kWh/día, que es la energía diaria que deberá suministrar la instalación como mínimo.

## 7. SISTEMA FOTOVOLTAICO

Un sistema fotovoltaico autónomo se compone de los siguientes subsistemas.

- **Subsistema de captación:** Es el generador fotovoltaico, compuesto por módulos o paneles fotovoltaicos. Convierte la radiación solar en energía eléctrica.
- **Subsistema de almacenamiento:** Necesario para almacenar la energía para consumirla en los momentos en los que no existe suficiente producción energética por parte del sistema de captación, ya que la radiación solar no está disponible continuamente. Está formado por los acumuladores (baterías).
- **Subsistema de regulación:** Necesario para regular la entrada de la energía procedente del sistema de captación dentro de la instalación. Formado por el regulador de carga. Sirve para controlar la carga y descarga de la batería y de esta forma evitar su destrucción y aumentar su vida útil.
- **Subsistema de adaptación de corriente:** Su función es adecuar las características de la energía a las demandadas por las aplicaciones. Cuando hay parte de la instalación que funciona con AC se coloca un inversor o conversor DC/AC. Si hay que convertir la tensión de salida DC a otro valor DC, se usa un convertidor DC/DC. En algunos casos se utilizan convertidores DC/DC para lograr mayor eficiencia en la conversión fotovoltaica siguiendo el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico (seguidores de máxima potencia). Estos seguidores de máxima potencia suelen ir incorporados al regulador. En este proyecto sólo se utiliza un inversor DC/AC.

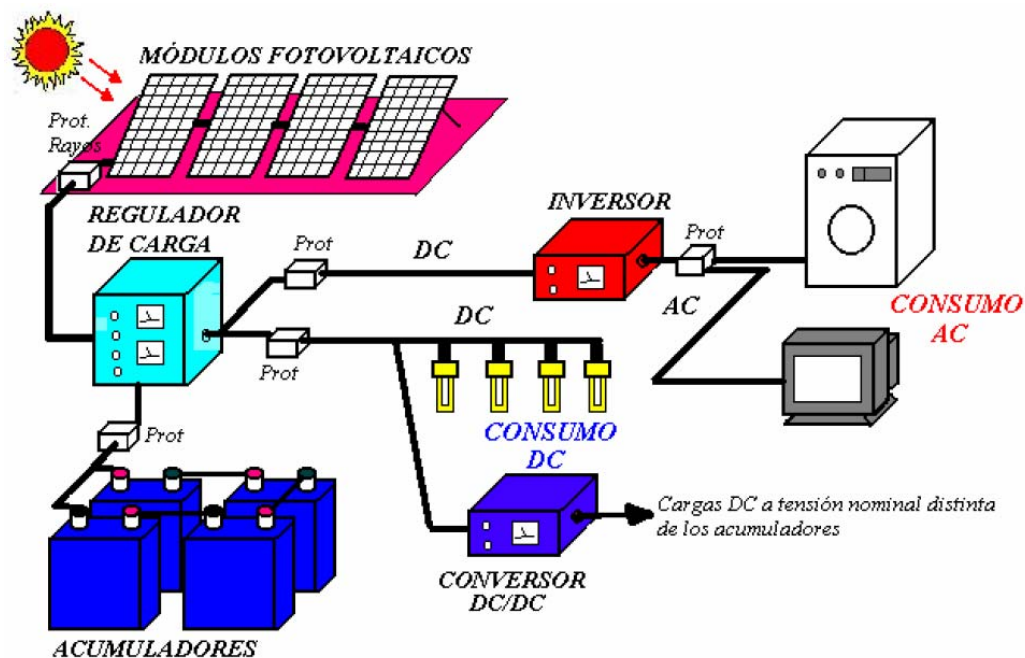


Figura 2. Sistema fotovoltaico autónomo

Se podrían utilizar equipos de consumo de corriente continua simplificando la instalación y aumentando la eficacia, pero éstos son tan caros que no merece la pena. La corriente alterna implica las ventajas de que los equipos de consumo tienen un mercado mucho más desarrollado, son más fiables, baratos y fáciles de encontrar en comercios. A pesar del coste del inversor y la sobredimensión del generador fotovoltaico para contrarrestar las pérdidas de éste, el precio de la instalación completa sería mayor usando equipos de consumo de corriente continua.

### ***7.1. Subsistema de captación: Fabricantes y distribuidores de módulos fotovoltaicos***

En el Anexo VI (página 53) se adjunta una lista de todos los fabricantes y distribuidores de paneles fotovoltaicos y el tipo de módulos con los que trabajan. Este proyecto se centra en aquellas empresas que fabrican sus módulos, ya que obtenerlos de un distribuidor aumentaría el coste.

En primer lugar, cabe destacar a los principales fabricantes de paneles fotovoltaicos que utilizan tecnología convencional, como son Bosch Solar, BP Solar, Canadian Solar, Evergreen, Isofoton, Kyocera, Mitsubishi Electric, Photowatt, REC Scan module, Scheuten, Schott, Shüco, Sharp, Solarworld, Solon, SunPower, Suntech Power, Trina y Yingli.

En segundo lugar, han surgido aquellos fabricantes que utilizan capa delgada, como son Abound Solar, Auria Solar, Avancis, First Solar, Inventux, Kaneka, Nanosolar, Solibro, Sulfurcell, United Solar y Würth Solar.

Por otro lado, algunos fabricantes importantes en tecnología convencional también están utilizando ahora la capa delgada, como Bosch Solar, Schott, Shüco y Sharp.

Se ha hecho una selección de los principales fabricantes y algunos de sus módulos, los más interesantes para este proyecto. Esta base de datos se encuentra en el Anexo VII (página 56).

A la hora de seleccionar los módulos que se podrían utilizar en el proyecto hay que tener en cuenta su coste, su eficiencia y su lugar de fabricación.

Los fabricantes más interesantes resultan ser los siguientes: Canadian Solar, HelioSphera, Kaneka, Moser Baer, Nanosolar, SuntechPower, Trina Solar Energy, United Solar y Yingli.

#### **Canadian Solar**

Es interesante por fabricar módulos de tecnología tradicional, monocristalino y multicristalino, a un precio bastante económico y con buenas eficiencias.

### **HelioSphera**

Es una empresa Griega que trabaja con módulos de Silicio microamorfo. A pesar de tener sólo una capacidad anual de 60MW, vende los módulos fotovoltaicos más baratos del mercado, por debajo incluso que los de tecnología tradicional fabricados en China.

### **Kaneka**

Es una empresa Japonesa, que también fabrica en Estados Unidos. En Kaneka producen paneles de Silicio microamorfo, utilizando soldadura sin plomo para disminuir la contaminación. Estos paneles son muy interesantes económicamente.

También fabrican módulos de Silicio amorfo con precios interesantes, aunque eficiencias bajas.

### **Moser Baer**

El principal interés de este fabricante se debe a su localización, fabrican en India que es el mayor mercado para la instalación de sistemas fotovoltaicos aislados. Fabrican módulos fotovoltaicos de Silicio multicristalino potencialmente baratos.

### **Nanosolar**

Es una empresa alemana, que también fabrica en Estados Unidos.

En Nanosolar han invertido mucho tiempo y dinero para desarrollar módulos de CIS (Cobre – Indio – Selenio). La idea consiste en depositar una fina película de un semiconductor (de pocas micras) usando un proceso de impresión (100 veces más rápido que la deposición por ultravacío convencional) creando así un célula solar eficiente y duradera.

Esta innovación la han logrado adaptando avances recientes en la nanociencia y creando novedosas formas de nanopartículas que añaden a la tinta de impresión. El resultado es que ahora pueden aplicar el equipamiento de una industria de impresión para producir láminas de energía solar a velocidades elevadas, llevando la economía de la impresión al mundo de la fabricación de semiconductores.

Las células solares son ligeras, flexibles, interconectadas, ajustadas al tamaño de forma sencilla y capaces de soportar hasta 25A de corriente por célula (25 veces más de lo que soportan las otras tecnologías de capa delgada comerciales). Aunque las células pueden ser de cualquier tamaño, su medida estándar es de 165mm de largo y 135mm de ancho.



Nanosolar comenzó a vender paneles fotovoltaicos a mediados de diciembre de 2007, posee una capacidad de producción anual de paneles solares de 430MW y su plan es llegar a venderlos entorno a 1€/Wp. Cuando comiencen la producción masiva serán económicamente muy interesantes.

### **Suntech Power**

La compañía Suntech Power es una empresa China que fabrica módulos fotovoltaicos de tecnología convencional de alta calidad, lo que la hace atractiva para la instalación de sistemas fotovoltaicos en Asia.

### **Trina Solar Energy**

Esta empresa fabrica módulos fotovoltaicos de Silicio mono y multicristalino, económicos, eficientes y fabricados en China.

### **United Solar Ovonic**

United Solar trabaja con Silicio amorfo, haciendo paneles flexibles. Es una empresa de Estados Unidos que sólo fabrica allí. Sus módulos son potencialmente económicos.

### **Yingli**

Yingli fabrica, en China, módulos fotovoltaicos de Silicio multicristalino bastante económicos. Debido a su lugar de fabricación, precio y eficiencia es una buena opción para el proyecto.

## **7.1.1 Fabricantes Descartados**

### **First Solar**

First Solar es actualmente el líder en fabricación de módulos fotovoltaicos, con alrededor de 1GW de instalaciones en funcionamiento en todo el mundo y una producción de más de 1GW de módulos al año. First Solar ha conseguido disminuir significativamente los costes de los módulos fotovoltaicos.

Fabrican paneles de capa delgada de CdTe, compuestos por cristal, Cadmio y Telurio, que son los más baratos del mercado. Al utilizar Teluro de Cadmio como material semiconductor, First Solar hace asequible la conversión de energía solar en la electricidad que utilizamos a diario.

El Cadmio es un metal pesado, lo que hace que surja un gran debate respecto a su utilización y First Solar esté sometida a una gran presión. Las principales argumentaciones de First Solar son que el CdTe no es tan venenoso como el Cd, que el material está bien encapsulado y que ellos se encargan del reciclaje personalmente.

Por otro lado, el principal argumento contra ellos es que en caso de incendio el Cadmio se liberaría en el aire produciendo graves enfermedades a todo el que lo inspirara.

La compañía ha creado un ciclo sostenible, debido a este gran debate que ejerce presión continua sobre ella:

Materia prima → Fabricación → Utilización → Recolección → Reciclaje de los módulos

A pesar de ser económicos, se han descartado estos paneles por el Cadmio. La instalación se encontraría en alguna zona apartada y estos módulos deben ser recogidos y reciclados.

### **Kyocera y Solarworld**

Fabrican módulos de tecnología tradicional, sin eficiencias especialmente elevadas y sus costes son prohibitivos.

### **Schott**

Sus costes son relativamente altos para módulos de Silicio amorfo.

### **Sharp**

La compañía va a entrar en producción masiva de módulos de Silicio microamorfo lo que implicará una notable reducción de costes, pero en la actualidad los paneles son relativamente caros.

### **Sunpower**

Los paneles solares de Sunpower son de Silicio monocristalino con hasta casi un 20% de eficiencia, la más elevada del mercado actual, lo que significa más energía solar con una menor dimensión de panel. Obtienen las mejores eficiencias, pero sus costes son muy elevados.

Después de una visión global, se puede afirmar que en la actualidad los paneles más interesantes económicamente son los de Silicio amorfo y microamorfo. Aunque el CIS tiene un gran potencial.

### 7.1.2 Otras Opciones

#### Konarka

Empresa estadounidense actualmente con proyectos en desarrollo, sin comercializar, con gran potencial de reducción de costes. Desarrollan una nueva generación de tecnología solar mediante paneles de plástico ligeros y flexibles.

El nuevo módulo fotovoltaico en desarrollo es de 5mm de grosor, fabricado con materiales 100% reciclables y opera entre -20°C y 65°C. Las instalaciones con este material serán mucho más versátiles, pues gracias a su flexibilidad se podrá adaptar a todo tipo de superficies.

Las siguientes aplicaciones están ahora en estudio:

- Cargadores de baterías portátiles, para móviles, ordenadores portátiles, etc.
- Microelectrónica: sensores, control remoto, etc.
- Dispositivos de higiene personal: cepillo de dientes, maquinilla de afeitar, etc.
- Coches eléctricos o convencionales, en el techo o en el capó.
- Paneles integrados en ventanas.

#### Baja concentración

La captación solar de los paneles fotovoltaicos puede ser incrementada añadiendo espejos a su alrededor, con la inclinación adecuada para enfocar el reflejo de los rayos solares hacia el módulo fotovoltaico. Este sistema intenta minimizar el problema evidente de que el sol está en continuo movimiento. La idea es que el concentrador posea dos caras simétricas, la cara de la mañana y la de la tarde, según se vaya moviendo el sol por el cielo. Los investigadores en este campo aún tienen que encontrar los módulos adecuados con los que utilizar los concentradores.

En la figura 3 se puede observar un ejemplo de concentrador.



**Figura 3.** Espejo que funciona como concentrador.

## **7.2. Subsistema de almacenamiento: Baterías**

En muchas ocasiones, debido a la variabilidad cíclica de la radiación solar la energía instantánea producida por el generador fotovoltaico es distinta de la requerida por las cargas del sistema. Se necesita un dispositivo que acumule energía cuando la generada sea mayor que la consumida, y que devuelva esa energía cuando la demanda supere la producción.

El dispositivo que se encarga de lo anteriormente descrito es el acumulador. En los sistemas fotovoltaicos se utilizan acumuladores electroquímicos: baterías recargables.

Además, las baterías han de permitir suministrar un valor de potencia superior al que se podría obtener únicamente con los paneles. Este suministro elevado de potencia puede ser necesario durante cortos periodos de tiempo en función del tipo de cargas de la instalación, en el caso concreto de este proyecto es la olla arrocera la que provoca esta situación.

Por otro lado, la utilización de baterías permite obtener un nivel de tensión estable, la cual podría variar en función de la irradiación solar que incide sobre los paneles.

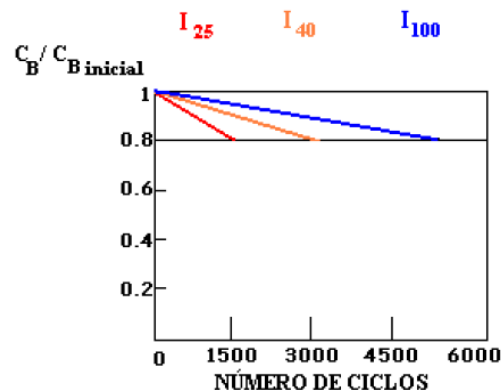
En la actualidad, las baterías más utilizadas son las de plomo-ácido debido a su bajo coste. Hay dos tipos fundamentales de baterías de plomo-ácido:

- Plomo-ácido líquido (abiertas). Se les debe añadir agua destilada periódicamente.
- Baterías de gel selladas VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Son mucho más robustas que las de plomo-ácido líquidas, no precisan mantenimiento (no hay que rellenar el electrolito), necesitan menos energía para ser recargadas, permiten más profundidad de descarga, son más transportables, etc. También son más caras. Además, hay que tener en cuenta que no se puede superar su tensión de carga porque da lugar a la gasificación, actúa la válvula de seguridad, se secan y se deterioran.

Los ciclos de carga y descarga de las baterías se repiten diariamente. En muchos sistemas fotovoltaicos la profundidad de descarga diaria suele ser del 5 al 15%. Cuando hay varios días nublados la profundidad de descarga aumenta, por lo que hay que diseñar la batería para que no se alcance la profundidad de descarga máxima.

Las baterías para uso fotovoltaico son de ciclo profundo. Los ciclos continuos de trabajo (carga y descarga) de una batería hacen que ésta pierda capacidad con el tiempo, debido a que se va perdiendo material activo. Se llega a la muerte de la batería cuando la capacidad se ha reducido al 80% de la nominal. Cuanto menor sea el régimen de descarga (número de horas en las que se descarga la batería), más rápidamente pierde la batería su capacidad. En la figura 4

puede verse que una batería descargándose en régimen de  $I_{25}$  tiene menor vida útil que si se descarga en régimen de  $I_{100}$ .



**Figura 4.** Número de ciclo respecto del régimen de descarga.

Como se mencionó anteriormente, el consumo diario de la instalación a dimensionar es de 1kWh. Se diseña la batería teniendo en cuenta que su profundidad de descarga máxima es del 80%. Se calcula la capacidad de la batería mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{E_{\text{día}} \cdot n}{PD_{\text{máx}} \cdot \eta_{\text{bat}} \cdot \eta_{\text{inv}}}$$

Donde:

- $E_{\text{día}}$  es el consumo energético de un día (1kWh).
- $n$  es el número de días de autonomía sin irradiación solar (se consideran 2 porque no es una instalación de vital importancia).
- $PD_{\text{máx}}$  es la profundidad de descarga máxima (80%  $\rightarrow$  ciclo profundo).
- $\eta_{\text{bat}}$  es la eficiencia de la batería en el proceso de descarga (80%).
- $\eta_{\text{inv}}$  es la eficiencia del inversor (80%).

$$C = \frac{1kWh \cdot 2}{0'8 \cdot 0'85 \cdot 0'8} = 3'676kWh$$

Será necesaria una batería de al menos 3'7kWh para la instalación, aunque este cálculo no es suficiente, ya que hay que asegurarse de poder obtener de la batería el pico de potencia máxima, que es de 535W.

La batería seleccionada es de gel, ya que implican un menor mantenimiento, de la marca Victron Energy y del tipo “Deep Cycle”, que significa que es de ciclo profundo. Esta batería posee las características expuestas en la tabla 3.

| Capacidad (Ah) | Régimen de descarga (h) | Voltaje nominal (V) | Largo (mm) | Ancho (mm) | Alto (mm) | Peso (kg) | Precio (€) |
|----------------|-------------------------|---------------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| 120            | 10                      | 12                  | 410        | 176        | 227       | 38        | 180 €      |

**Tabla 3.** Características de la batería BAT412121100 de Victron Energy.

La potencia máxima que puede transmitir una de estas baterías es:

$$P_{\max} = \frac{120(Ah)}{10(h)} \cdot 12(V) = 144(W) \rightarrow \text{Para poder abastecer los 535W máximos se necesitan}$$

$$\text{cuatro de éstas baterías: } P_{\max, \text{total}} = 144(W) \cdot 4 = 576(W)$$

La instalación va a tener una tensión nominal de 12V ó 24V. Por tanto, se utilizarán cuatro baterías de la siguiente forma: cuatro en paralelo para las instalaciones de 12V y dos en serie y dos en paralelo para las instalaciones de 24V. Consiguiendo de esta forma una capacidad nominal del conjunto de baterías de:  $C_{\text{nominal}} = 4 \cdot 12(V) \cdot 120(Ah) = 5760(Wh)$ .

Se puede observar que la capacidad nominal de la batería supera con creces los  $3'7kWh$  calculados inicialmente, pero sin esta sobredimensión no sería posible administrar el pico de potencia de 535W que se necesita al conectar la olla arrocera. Además, la capacidad nominal de 5760Wh implica unos 3 días de autonomía, que es un día más de lo previsto inicialmente.

### 7.3. Subsistema de regulación: el regulador de carga

En el proceso de carga de la batería, como la tensión que puede proporcionar el panel es mayor que la que presenta la batería a plena carga, si no se controla el proceso de carga, se pueden dar sobrecargas de la batería. El regulador de carga sirve para evitar dichas sobrecargas. Este dispositivo controla el valor de la corriente inyectada en la batería. Si no se evita la sobrecarga de las baterías, se produce gasificación y calentamiento, dando lugar a una disminución de su vida útil. También evita las sobredescargas, que igualmente disminuyen la vida útil de la batería.

Un regulador funciona generalmente por control de la tensión (relacionada con el estado de carga) en los terminales de la batería.

Los métodos usados para controlar la tensión en la batería son el regulador serie (cortando el suministro mediante circuito abierto) y el regulador paralelo (disipando la corriente generada por el generador mediante un dispositivo electrónico).

Cuando la tensión de la batería indica que va a pasar a sobrecarga (tensión de corte por alta), se desconecta la batería del generador. Cuando la tensión de la batería indica que va a pasar a sobredescarga (tensión de corte por baja), se desconecta la batería del consumo.

El regulador debe ser configurado específicamente en función del tipo de batería, aplicación y condiciones climáticas. Sus principales características son:

- Tensión nominal: igual a la del sistema (generalmente 12, 24 ó 48V).
- Intensidad máxima que permite que circule a través de él. Debe ser al menos un 30% mayor que la máxima corriente del generador fotovoltaico, puesto que en ocasiones (días con nubes rodeando el sol) la irradiancia puede llegar a superar los  $1300 W / m^2$ .

Para las instalaciones fotovoltaicas aisladas de este proyecto es importante configurar el regulador de carga de forma que reserve la energía necesaria para abastecer la nevera durante la noche, ya que ésta no debe quedar sin alimentación.

#### ***7.4. Subsistema de adaptación de corriente: Inversor***

En el mercado existen inversores monofásicos y trifásicos. La frecuencia de la tensión de salida es de 50Hz (en Europa y algunos países de América) o de 60Hz (en Estados Unidos y otros países). En sistemas autónomos, lo normal, es que estén conectados a la batería (a través del regulador), aunque los hay que pueden conectarse directamente al generador fotovoltaico.

Las principales características de un inversor son:

- Tensiones nominales de entrada y salida.
- Potencia máxima que puede proporcionar indefinidamente.
- Eficiencia (que varía con la potencia).

Hay ciertas cualidades que deben cumplir los inversores:

- Estabilidad de voltaje: La tensión de salida debe ser lo más estable posible, independientemente de la carga y la tensión de entrada.
- Eficiencia: Debe ser lo más elevada posible, para todo el rango de potencias de salida.
- Baja distorsión armónica.
- Capacidad para resistir potencia punta.
- Elevado rango de temperaturas de trabajo: suelen estar entre -5 y 40°.
- Posibilidad de ser combinado en paralelo (por si se quisiera ampliar la instalación).
- Arranque y desconexión automáticos (al detectar carga o la ausencia de ella).
- Señalización adecuada: alarma ante cortocircuitos y otros posibles fallos.

- Seguridad: deben llevar protección contra cortocircuitos, sobrecargas e inversión de polaridad.

Actualmente el mercado de inversores con una potencia nominal inferior a 1kW es muy reducido. En la base de datos de Photon International hay 26 inversores que además de ser menores de 1kW sirvan para aplicación en fotovoltaica aislada.

En el Anexo VIII (página 63) se adjunta una tabla con los 26 inversores y sus principales características. Entre ellos destaca con claridad un inversor de la empresa Dorfmüller debido a su elevada eficiencia y que su potencia nominal se ajusta bastante a la máxima potencia a invertir. Sus datos son los siguientes:

- Modelo: DMI 550/50
- MPP range DC (V): 42 – 70
- Pnom DC (kVA): 0,55
- Pnom AC (kVA): 0,5
- Eficiencia Europea: 91,5%

| % Pnom                | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Eficiencia (%)</b> | 80,8 | 84,7 | 90,5 | 91,6 | 92,1 | 92,6 | 92,2 | 91,9 | 91,7 | 91,6 | 91,5 |

**Tabla 4.** Eficiencia del inversor según la potencia que se esté invirtiendo.

El inversor debe ser capaz de invertir la máxima potencia, que es cuando se utiliza la olla arrocera. El resto del tiempo el inversor actúa aproximadamente al 5% de su potencia nominal, lo que reduce bastante su eficiencia, que será aproximadamente del 80%. Por este motivo, es importante ajustar el inversor a la máxima potencia en esta instalación.

Existen lámparas de bajo consumo que funcionan en continua directamente, la utilización de las mismas evitaría el funcionamiento del inversor a bajo régimen. En este proyecto no se ha utilizado esta opción debido al elevado coste de las lámparas de continua.



## 8. DIMENSIONAMIENTO SEGÚN LA LATITUD

Los paneles fotovoltaicos se orientan hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur.

A la hora de dimensionar los paneles fotovoltaicos se debe tener en cuenta la inclinación que se les dará al instalarlos. La inclinación a tener en cuenta es la representada en la figura 5.



**Figura 5.** Inclinación de los paneles.

Existen dos opciones, se puede utilizar la inclinación con que se obtiene la mayor producción anual de energía o aquella que optimiza el mes de menor radiación para que produzca la mayor cantidad de energía posible, ya que si la instalación produce suficiente en el peor mes, lo hará también el resto del año. En este proyecto se va a utilizar el planteamiento del mes peor. Se colocará el módulo fotovoltaico con la inclinación adecuada para el mes de menor radiación solar. Esto implica que la energía captada anualmente por el panel disminuye, pero no es importante, ya que de todas formas se obtiene la energía diaria suficiente para el consumo de la vivienda.

Para mejorar la captación en invierno, normalmente, se aumenta la inclinación de los paneles, pero más adelante se comprueba como en latitudes cercanas al ecuador, esto no es necesariamente así, en estos casos la inclinación ronda los  $0^\circ$  y depende mucho del lugar el que haya que aumentarla o disminuirla.

Los datos de energía que se generan en cada latitud se obtienen de la página Web Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) mediante los mapas interactivos de recursos solares y potencia fotovoltaica. Introduciendo en esta página Web la localización, unas pérdidas aproximadas y la inclinación de los paneles, se obtiene la energía que se puede generar en  $kWh/kWp$ .

Se escogen cinco ciudades del hemisferio norte con distintas latitudes, dentro de una franja con radiación lo suficientemente estable a lo largo del año, para estudiar el dimensionamiento de los paneles de la instalación en cada una de ellas. Se hace el estudio para Addis Abeba (Etiopía), Khartoum (Sudán), Abu Simbel (Egipto), Sevilla (España) y Barcelona (España). Se estudian también los casos de París (Francia) y Copenhague (Dinamarca), simplemente como demostración de la gran sobredimensión necesaria en esas latitudes, que supone unos costes prohibitivos.

Aproximadamente, el consumo de la vivienda es de 1kWh/día, con este dato se pueden dimensionar los paneles fotovoltaicos.

Se han utilizado datos de energía media mensual por kWp de panel fotovoltaico instalado, por tanto, la instalación debe producir 30kWh/mes para alimentar las cargas, que son todas de corriente alterna.

Como en toda instalación, hay pérdidas de energía:  
En primer lugar, las pérdidas en el inversor. Se considera una eficiencia del inversor del 80%, ya que la mayor parte del tiempo este trabaja a una potencia aproximadamente del 5% de la potencia nominal.

$$E = \frac{30}{0.8} = 38.1(kWh/mes)$$

Y en segundo lugar, las pérdidas en la batería. Aproximadamente un 70% de la energía producida por los paneles pasa por la batería y en esta se da una pérdida del 25% de la energía:

$$E = \frac{38.1 \cdot 0.7}{0.75} + 38.1 \cdot 0.3 = 44.8(kWh/mes)$$

Se dimensionan los paneles fotovoltaicos para que produzcan  $44.8(kWh/mes)$ .

Ahora se lleva a cabo el dimensionamiento para las distintas localizaciones mencionadas anteriormente.

### ***Khartoum (Sudán)***

Latitud: 15° 33' Norte

| Inclinación | Enero | Feb | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
|-------------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 0           | 139   | 141 | 167   | 174   | 173  | 171   | 162   | 154 | 154 | 157 | 142 | 136 | 1870  |
| 5           | 149   | 148 | 171   | 174   | 170  | 166   | 159   | 153 | 156 | 163 | 151 | 146 | 1910  |
| 10          | 158   | 154 | 174   | 173   | 166  | 161   | 155   | 151 | 157 | 168 | 159 | 156 | 1930  |
| 15          | 166   | 159 | 176   | 171   | 161  | 154   | 149   | 148 | 157 | 171 | 166 | 165 | 1940  |
| 20          | 173   | 163 | 176   | 167   | 155  | 147   | 143   | 144 | 156 | 174 | 172 | 173 | 1940  |

**Tabla 5.** Datos obtenidos de PVGIS.

En la tabla 5 se tiene la media mensual de energía producida por kilovatio instalado en unidades  $kWh/kWp$ , según la inclinación que se les da a los paneles.

- Menor producción mensual del año
- Inclinación óptima para la producción anual
- Inclinación óptima para maximizar la producción en el peor mes de radiación solar

Como se mencionó anteriormente, se usará el método del mes peor, por lo tanto, la inclinación de los paneles en Khartoum será de 10° y esto supone una producción de  $151(kWh/kWp)$  en el mes de peor radiación.

$$\frac{44'8(kWh/mes)}{151(kWh/(kWp \cdot mes))} = 0'297(kWp)$$

Considerando un 10% de pérdida en la eficiencia de los paneles:  $\frac{297(Wp)}{0'9} = 330(Wp)$

Una instalación de 330 Wp es suficiente en Khartoum, la casa podría quedar sin energía suficiente algún día del año, pero existe la opción de cocinar con madera para ahorrar la energía.

### ***Abu Simbel (Egipto)***

Latitud: 22° 20' 12'' Norte

| Inclinación | Enero | Feb | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
|-------------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 20          | 139   | 136 | 155   | 157   | 156  | 154   | 160   | 159 | 153 | 156 | 139 | 134 | 1800  |
| 25          | 145   | 139 | 156   | 155   | 151  | 147   | 154   | 155 | 152 | 159 | 145 | 140 | 1800  |
| 30          | 150   | 142 | 156   | 151   | 145  | 140   | 147   | 150 | 151 | 161 | 149 | 145 | 1790  |
| 35          | 154   | 143 | 155   | 147   | 138  | 132   | 139   | 145 | 148 | 162 | 152 | 149 | 1760  |
| 40          | 156   | 144 | 152   | 141   | 130  | 123   | 130   | 138 | 145 | 162 | 154 | 152 | 1730  |

**Tabla 6.** Datos obtenidos de PVGIS.

En la tabla 6 se tiene la media mensual de energía producida por kilovatio instalado en unidades  $kWh/kWp$ , según la inclinación que se les da a los paneles.

- Menor producción mensual del año
- Inclinación óptima para la producción anual
- Inclinación óptima para maximizar la producción en el peor mes de radiación solar

Inclinación de los paneles  $30^\circ \rightarrow 140(kWh/kWp)$  en el mes de peor radiación.

$$\frac{44'8}{\frac{140}{0'9}} = 0'356(kWp)$$

Una instalación de 356 Wp es suficiente en Abu Simbel.

### **Addis Abeba (Etiopía)**

Latitud:  $9^\circ 1' 21''$  Norte

| Inclinación | Enero | Feb | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
|-------------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 0           | 155   | 147 | 161   | 149   | 160  | 141   | 120   | 118 | 136 | 166 | 162 | 159 | 1770  |
| 5           | 164   | 152 | 163   | 148   | 155  | 136   | 116   | 116 | 137 | 171 | 171 | 169 | 1800  |
| 10          | 173   | 157 | 165   | 145   | 150  | 130   | 112   | 114 | 136 | 175 | 179 | 179 | 1810  |
| 15          | 179   | 160 | 165   | 142   | 144  | 124   | 108   | 111 | 135 | 177 | 185 | 187 | 1820  |
| 20          | 185   | 163 | 164   | 138   | 137  | 117   | 102   | 107 | 133 | 179 | 190 | 194 | 1810  |
| 25          | 190   | 164 | 162   | 133   | 129  | 109   | 96,8  | 103 | 130 | 179 | 194 | 199 | 1790  |

**Tabla 7.** Datos obtenidos de PVGIS.

En la tabla 7 se tiene la media mensual de energía producida por kilovatio instalado en unidades  $kWh/kWp$ , según la inclinación que se les da a los paneles.

- Menor producción mensual del año
- Inclinación óptima para la producción anual
- Inclinación óptima para maximizar la producción en el peor mes de radiación solar

Inclinación de los paneles  $0^\circ \rightarrow 118(kWh/kWp)$  en el mes de peor radiación.

$$\frac{44'8}{\frac{118}{0'9}} = 0'422(kWp)$$

Una instalación de 422 Wp es suficiente en Addis Abeba.

### Sevilla (España)

Latitud: 37° 22' 57'' Norte

| Inclinación | Enero | Feb | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic  | Anual |
|-------------|-------|-----|-------|-------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| 30          | 103   | 110 | 151   | 145   | 156  | 166   | 181   | 177 | 152 | 126 | 106 | 93,3 | 1670  |
| 35          | 108   | 113 | 153   | 143   | 152  | 160   | 175   | 174 | 153 | 130 | 111 | 98,1 | 1670  |
| 40          | 112   | 116 | 154   | 141   | 147  | 153   | 168   | 170 | 153 | 132 | 114 | 102  | 1660  |
| 45          | 115   | 118 | 154   | 138   | 141  | 146   | 160   | 165 | 151 | 133 | 118 | 106  | 1640  |
| 50          | 118   | 119 | 153   | 134   | 134  | 137   | 151   | 158 | 149 | 134 | 120 | 108  | 1610  |
| 55          | 119   | 119 | 150   | 129   | 126  | 127   | 141   | 151 | 145 | 133 | 121 | 110  | 1570  |
| 60          | 120   | 119 | 147   | 123   | 118  | 117   | 130   | 142 | 141 | 132 | 122 | 111  | 1520  |
| 65          | 120   | 118 | 143   | 116   | 109  | 106   | 118   | 133 | 135 | 129 | 121 | 111  | 1460  |
| 70          | 119   | 115 | 137   | 109   | 99,3 | 94,8  | 106   | 122 | 129 | 126 | 120 | 111  | 1390  |

**Tabla 8.** Datos obtenidos de PVGIS.

En la tabla 8 se tiene la media mensual de energía producida por kilovatio instalado en unidades  $kWh/kWp$ , según la inclinación que se les da a los paneles.

- Menor producción mensual del año
- Inclinación óptima para la producción anual
- Inclinación óptima para maximizar la producción en el peor mes de radiación solar

Inclinación de los paneles  $60^\circ \rightarrow 111(kWh/kWp)$  en el mes de peor radiación.

$$\frac{44'8}{\frac{111}{0'9}} = 0'448(kWp)$$

Una instalación de 448 Wp es suficiente en Sevilla.




### Barcelona (España)

Latitud: 41° 23' 16'' Norte

| Inclinación | Enero | Feb  | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago | Sep | Oct | Nov  | Dic  | Anual |
|-------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-----|-----|-----|------|------|-------|
| 30          | 76,1  | 80   | 116   | 120   | 133  | 136   | 142   | 135 | 119 | 100 | 74,2 | 70,9 | 1300  |
| 35          | 79,4  | 82,3 | 117   | 119   | 130  | 132   | 139   | 134 | 120 | 103 | 77,1 | 74,4 | 1310  |
| 40          | 82,2  | 84   | 118   | 118   | 127  | 128   | 135   | 131 | 120 | 104 | 79,4 | 77,3 | 1300  |
| 45          | 84,4  | 85,3 | 118   | 116   | 123  | 123   | 130   | 128 | 119 | 106 | 81,3 | 79,7 | 1290  |
| 50          | 86,2  | 86,1 | 118   | 113   | 118  | 117   | 125   | 125 | 118 | 106 | 82,6 | 81,6 | 1280  |
| 55          | 87,4  | 86,4 | 116   | 110   | 113  | 111   | 119   | 120 | 116 | 106 | 83,5 | 83   | 1250  |
| 60          | 88    | 86,1 | 114   | 106   | 107  | 104   | 112   | 115 | 113 | 105 | 83,9 | 83,8 | 1220  |
| 65          | 88,2  | 85,4 | 112   | 102   | 101  | 96,9  | 104   | 109 | 110 | 104 | 83,7 | 84,2 | 1180  |
| 70          | 87,8  | 84,2 | 108   | 96,5  | 93,6 | 88,6  | 95,7  | 103 | 105 | 102 | 83,1 | 84   | 1130  |

**Tabla 9.** Datos obtenidos de PVGIS.

En la tabla 9 se tiene la media mensual de energía producida por kilovatio instalado en unidades  $kWh/kWp$ , según la inclinación que se les da a los paneles.

-  Menor producción mensual del año
-  Inclinación óptima para la producción anual
-  Inclinación óptima para maximizar la producción en el peor mes de radiación solar

Inclinación de los paneles  $60^\circ \rightarrow 83'8(kWh/kWp)$  en el mes de peor radiación.

$$\frac{44'8}{\frac{83'8}{0'9}} = 0'594(kWp)$$

Una instalación de 594 Wp es suficiente en Barcelona.

Se puede concluir, como se observa en la tabla 10, que dentro de las zonas de posible aplicación de la instalación, la dimensión de los módulos fotovoltaicos variará aproximadamente entre 300 y 600 Wp. Además, obsérvese como al aumentar la latitud aumentan los vatios necesarios, exceptuando el caso de Addis Abeba, que al estar tan cercana al ecuador posee una menor irradiación debido a la elevada nubosidad de la zona.

| Ciudad      | Latitud | Wp  |
|-------------|---------|-----|
| Khartoum    | 15      | 330 |
| Abu Simbel  | 22      | 356 |
| Addis Abeba | 9       | 422 |
| Sevilla     | 37      | 448 |
| Barcelona   | 41      | 594 |

**Tabla 10.** Tabla resumen.

Los cálculos siguientes son realizados como demostración de que en latitudes tan lejanas al ecuador no es viable este proyecto.

#### ***París (Francia)***

Latitud:  $48^\circ 51' 24''$  Norte

Siguiendo el mismo método se obtiene una instalación de 1699 Wp. Esta elevada sobredimensión daría lugar a unos costes prohibitivos, por lo que la instalación no es aplicable en estas latitudes.

#### ***Copenhague (Dinamarca)***

Latitud:  $55^\circ 40' 34''$  Norte

Siguiendo el mismo método se obtiene una instalación de 2540 Wp. Esta elevada sobredimensión daría lugar a unos costes prohibitivos, por lo que la instalación no es aplicable en estas latitudes.

En el Anexo IX (página 64) se pueden observar las tablas con los datos y los cálculos pertinentes para dimensionar las instalaciones de París y Copenhague.

## 9. DIMENSIONAMIENTO SEGÚN LA LATITUD MEDIANTE HOGA

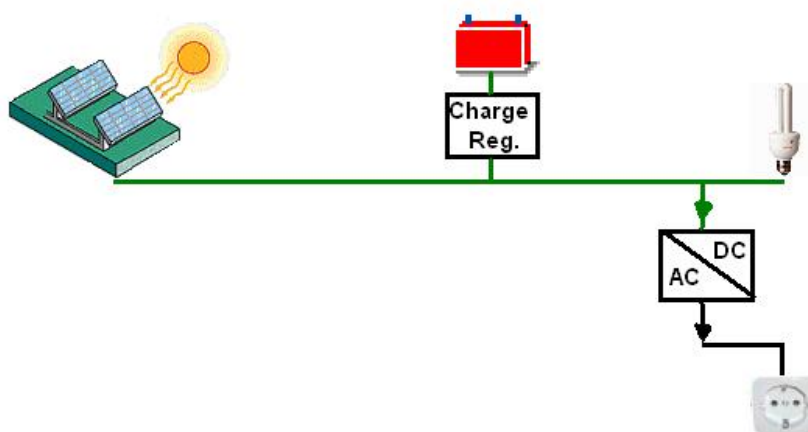
A continuación se realiza el dimensionamiento de la instalación, en las ciudades anteriores, mediante el programa informático HOGA.

### 9.1. Descripción de HOGA

HOGA (Hybrid Optimization by Generic Algorithms) es un programa desarrollado en C++ para optimización de sistemas híbridos de energías renovables para la generación de energía eléctrica y/o hidrógeno.

Se entiende por optimización la minimización de los costes totales del sistema a lo largo de su vida útil, trasladados o actualizados al momento inicial de la inversión (Valor Actual Neto). En este caso la optimización es económica (mono – objetivo). No obstante, el programa también permite la optimización multi – objetivo, donde además de los costes, se minimizan más variables (las emisiones de  $CO_2$ , la energía no servida, etc.).

Los elementos que pueden componer el sistema híbrido son: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, turbina hidráulica, pila de combustible, tanque de  $H_2$  y electrolizador, además de baterías, regulador de carga de las baterías, inversor, rectificador y generador AC. En este proyecto, sólo se utilizan, para la simulación, paneles fotovoltaicos, baterías, regulador de carga e inversor. En la figura 6 se observa el esquema de HOGA.



**Figura 6.** Representación esquemática de la instalación.

Las cargas del sistema pueden ser:

- Cargas eléctricas en corriente alterna (AC).
- Cargas eléctricas en corriente continua (DC).
- Cargas de Hidrógeno.
- Consumo de agua procedente de depósito de abastecimiento, agua que previamente ha sido bombeada por una electrobomba desde un pozo o río hasta el depósito.

En este proyecto sólo hay cargas en corriente alterna: electrodomésticos que consumen corriente alterna.

El programa también incorpora la posibilidad de vender energía eléctrica AC a la red, opción que no será utilizada en este proyecto.

Simulación del sistema:

Para cada combinación de componentes y variables de control HOGA simula el sistema durante un año completo, ya que se considera que todos los años de la vida útil del sistema serán iguales. Durante ese año, en intervalos de una hora, se obtienen todas las variables para definir el comportamiento del sistema, partiendo de las características de los elementos que componen el sistema, de las variables de control, de los datos de demanda energética y de los datos climatológicos.

La irradiación solar horaria se puede calcular a partir de los datos mensuales mediante distintos métodos, entre ellos está el modelo Graham (1990) que es el utilizado en este proyecto. Este modelo conlleva variabilidad estadística, es decir, tiene en cuenta la nubosidad.

En la pantalla inicial de HOGA se seleccionan los componentes que posee la instalación, la energía no servida máxima permitida, el número de paneles y baterías en paralelo permitidos, las tensiones de AC y DC de la instalación, parámetros económicos y el acceso a otras pestañas: el consumo, la irradiación, los paneles fotovoltaicos, las baterías, el inversor y otros dispositivos auxiliares, como el regulador de carga. Esto se puede observar en la figura 7, en la página siguiente.



Proyecto: C:\HOGA1.94-ESP\Proyectos\01 Khartoum.hoga

Proyecto Datos Calcular Informe Ayuda

**CONSUMO**

**RECURSOS**

**COMPONENTES**

Tensión DC: 12 V  
Tensión AC: 230 V

**CALCULAR**

**INFORME**

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 4 Máx. 4  
Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 10  
Aerogen. paralelo: Mín. 0 Máx. 5

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN:

☒ HOGA ☐ USUARIO Ver parámetros

Tiempo máximo ejecución: 1 h. 0 min.

TIPO DE OPTIMIZACIÓN (MONO O MULTI-OBJETIVO):

☒ MONO-OBJETIVO ☐ MULTI-OBJETIVO

☐ Coste - Emis. CO2 ☒ Ver solo No dominadas  
☐ Coste - E. No Serv. % sobre coste mín. 50  
☐ Triple N° máx. No dom.: 20

Guardar Pareto cada 5 gen. Exportar Pareto

VARIABLES DE CONTROL A OPTIMIZAR (ALG. SEC.)

☐ Pmin\_gen ☐ Pmin\_pila ☐ H2TANKstp  
☐ P1\_gen ☐ P1\_pila ☐ P2  
☐ SOCstp\_gen ☐ SOCstp\_pila ☐ SOCmin  
☐ Pcritica\_gen ☐ Pcritica\_pila ☐ Plímite\_carga

Fijar Valores Precisión variables: 5 = 100%

Máxima E No Servida permitida: 0,1 % anual

Inicio de la simulación:  
hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bater)  
Días autonomía 4

**COMPONENTES**

☒ Paneles PV  
☐ Aerogeneradores  
☐ Turbina hidráulica  
☒ Baterías  
☐ Generador AC  
☒ Inversor  
☐ H2 (Pila - Elect.)

**PARÁMETROS ECONÓMICOS:**

Intereses del mercado: 4 % Tasa de descuento general (%): 1,96 %  
Inflación esperada general (O&M...): 2 %  
Periodo de estudio: 25 años  
Cableado e instalación: 300 € Fijo + 2 % C. total

☒ Esquema ☐ Gráfica

Figura 7. Pantalla principal de HOGA.

Obsérvese redondeado en rojo, arriba a la izquierda como se ha introducido el número de baterías y paneles fotovoltaicos en paralelo. En el caso de las baterías se ha fijado el mínimo y el máximo a cuatro, porque ya se conoce la capacidad deseada y se ha introducido la batería a utilizar. En el caso de los paneles, se introduce un máximo, simplemente para que la ejecución del programa tarde menos tiempo, al tener menos posibles configuraciones que comprobar, ya que se ha introducido un listado de posibles paneles fotovoltaicos a utilizar. Redondeado en rojo en el centro se ha introducido la máxima energía no servida permitida y a la derecha los componentes de la instalación. Por otra parte, abajo a la izquierda se introducen las tensiones de AC y DC de la instalación.

A continuación se detallan los datos que se deben introducir al pinchar en cada pestaña:

### 9.1.1 Consumo

**Consumo de la instalación**

Fuente de Datos:  
☐ Media mensual ☒ Desde Perfil ☐ Desde Fichero (valores horarios en W) Importar Exportar

|            | CARGAS AC (W) |      |      |      | CARGAS DC (W) |      |      |      | CONSUMO H2 (kg) |       |        |        | CONSUMO AGUA DE DEPÓSITO (PREVIAMENTE BOMBEADA) |        |        |        |
|------------|---------------|------|------|------|---------------|------|------|------|-----------------|-------|--------|--------|---|--------|--------|--------|
| Mes        | 0-1h          | 1-2h | 2-3h | 3-4h | 4-5h          | 5-6h | 6-7h | 7-8h | 8-9h            | 9-10h | 10-11h | 11-12h | 12-13h  | 13-14h | 14-15h | 15-16h |
| ENERO      | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| FEBRERO    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| MARZO      | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| ABRIL      | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| MAYO       | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| JUNIO      | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| JULIO      | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| AGOSTO     | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| SEPTIEMBRE | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| OCTUBRE    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| NOVIEMBRE  | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |
| DICIEMBRE  | 0             | 0    | 0    | 0    | 0             | 0    | 0    | 0    | 0               | 0     | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0      |

Factor de escala para Lunes - Viernes: 1 Factor de escala para el fin de semana: 1

Perfil: Estándar AC Añadir Perfil

Aleatoriedad del Consumo:  
 Variabilidad diaria: AC 0% DC 0% H2 0%  
 Variabilidad horaria: AC 0% DC 0% H2 0%  
Generar año

Factor de potencia de las cargas (cos  $\phi$ ): 1 ACEPTAR Dibujar

**CONSUMO MEDIO DE ENERO**

Potencia AC máx. demandada en el año (inc. bombeo AC): Activa 693,7 W; Aparente 693,7 VA  
 Potencia AC media horaria: Activa 159,66 W; Aparente 159,66 VA  
 Potencia DC máxima demandada en el año: 0 W; Potencia DC media horaria 0 W  
 Valor medio horario de (Energía\_DC\_hora/Energía\_Total\_hora): Factor DC = 0%

☐ Comprar E No Servida a la red eléctrica AC  
 Precio (€/kWh) 0,08 Inflación (%) 3  
 Emisión (kgCO2/kWh) 0,4

☐ Vender E sobrante (en exceso) a la red AC  
 Precio (€/kWh) 0,06 Inflación (%) 3

☐ Vender H2 sobrante en tanque  
 Precio (€/kg) 10 Inflación (%) 3

**Figura 8.** Pestaña de consumo.

Como se puede observar en la figura 8 las posibles cargas a introducir son de corriente alterna, de corriente continua, consumo de  $H_2$  y consumo de agua de depósito. En este proyecto sólo habrá cargas de corriente alterna (los electrodomésticos).

### 9.1.2 Irradiación

Como se puede observar en la figura 9 en esta pantalla se introducen los siguientes datos:

- Latitud.
- Inclinación de los paneles.
- Azimut de los paneles.
- Reflectividad del suelo.
- Irradiación media mensual sobre superficie horizontal (en  $kWh/m^2$ ).
- Método de cálculo de la irradiación horaria: se selecciona el modelo Graham que tiene en cuenta la posibilidad de nubes.
- La zona horaria.

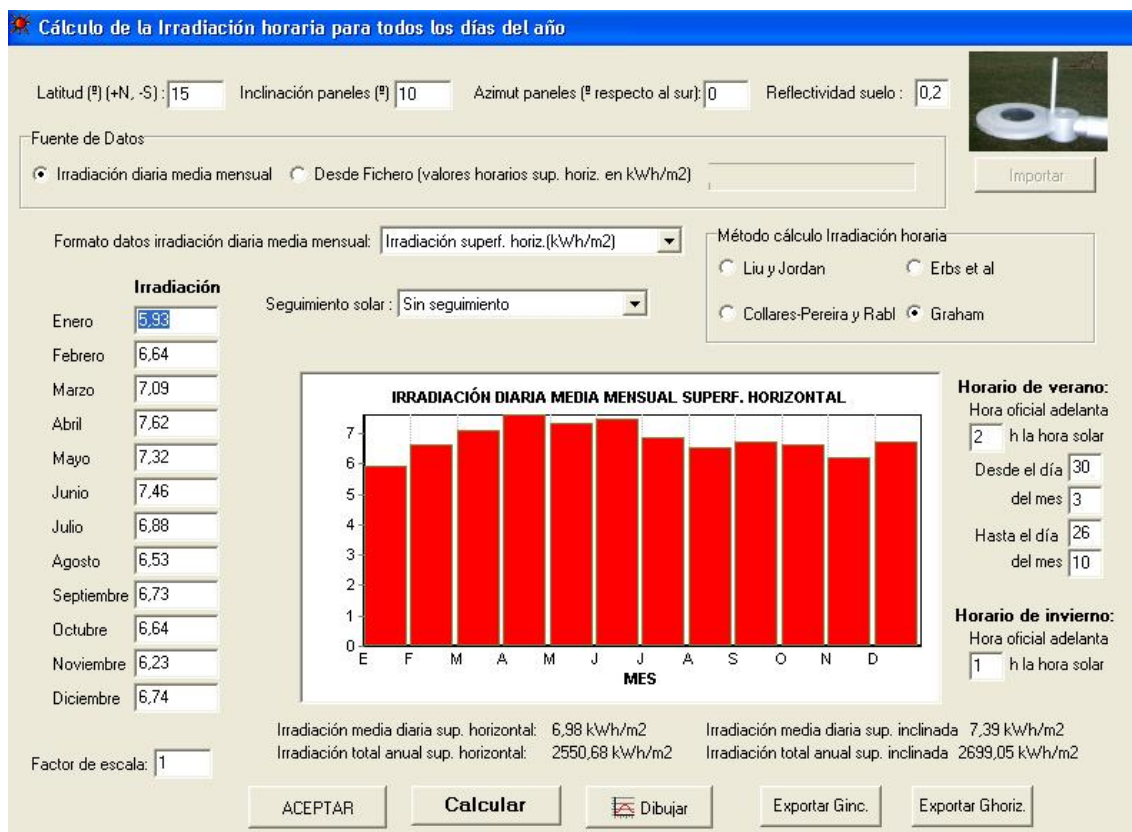


Figura 9. Pestaña de irradiación.

### 9.1.3 Paneles fotovoltaicos

En esta pantalla (figura 10) se introducen todos los posibles paneles fotovoltaicos a utilizar. Se hace la simulación suponiendo un coste de  $1\text{€}/kWp$  para todos los paneles, de esta forma el programa seleccionará el panel más adecuado para la instalación sin tener en cuenta los costes, que serán analizados más adelante.

Se han introducido paneles para tensión nominal de la instalación de 12 ó 24V, ya que son las utilizadas. Se utiliza una tensión nominal de 12V para instalaciones de hasta 400W y tensión nominal de 24V para instalaciones de más de 400W. Se introduce la corriente de cortocircuito, la potencia nominal, el coste y la vida esperada de cada panel.

Se utiliza un factor de seguridad de 1,2, ya que la instalación no tendrá seguidor del punto de máxima potencia. Los seguidores del punto de máxima potencia (MPPT) son convertidores DC/DC que fuerzan al generador a trabajar en el punto de máxima potencia, de forma que el rendimiento energético del sistema aumenta. Por tanto, sin seguidor del punto de máxima potencia, la potencia generada será casi siempre inferior a la máxima que se podría obtener. Por esto, se debe sobredimensionar la instalación mediante el factor de seguridad.

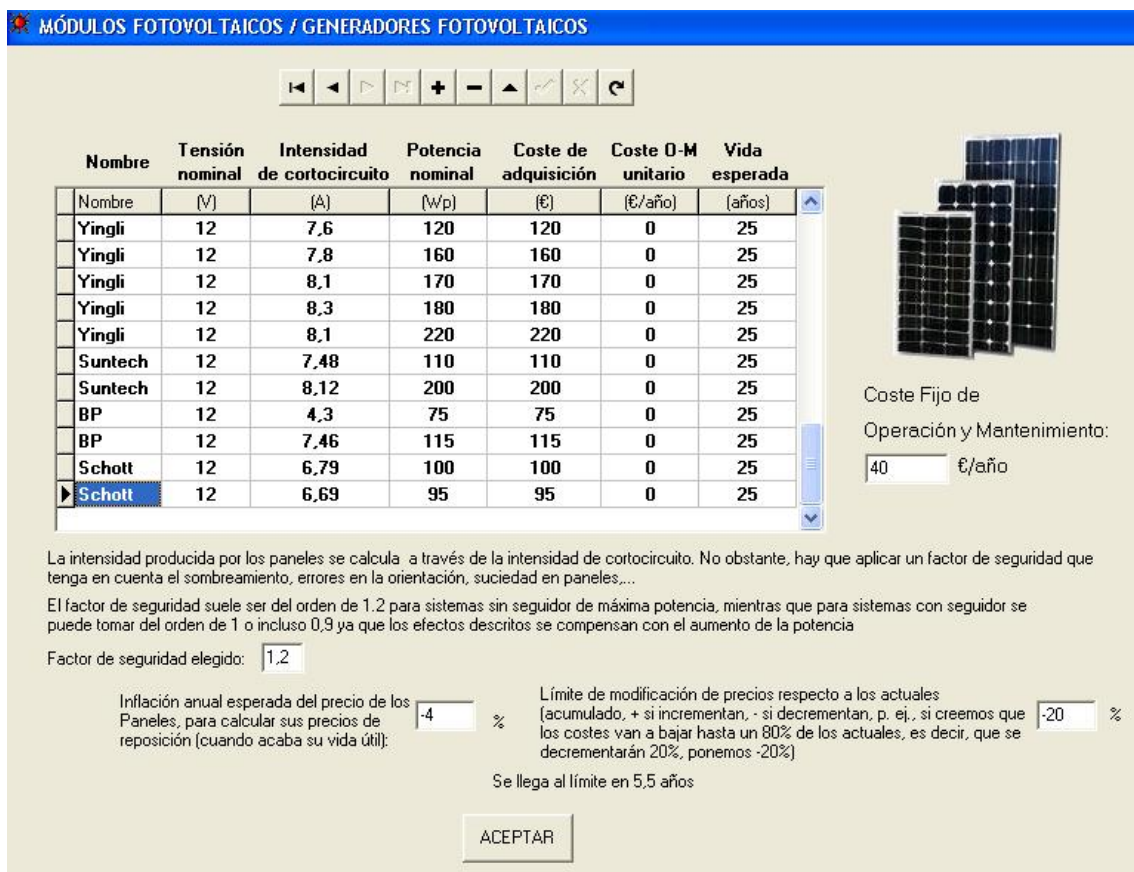


Figura 10. Pestaña de paneles fotovoltaicos.

### 9.1.4 Baterías

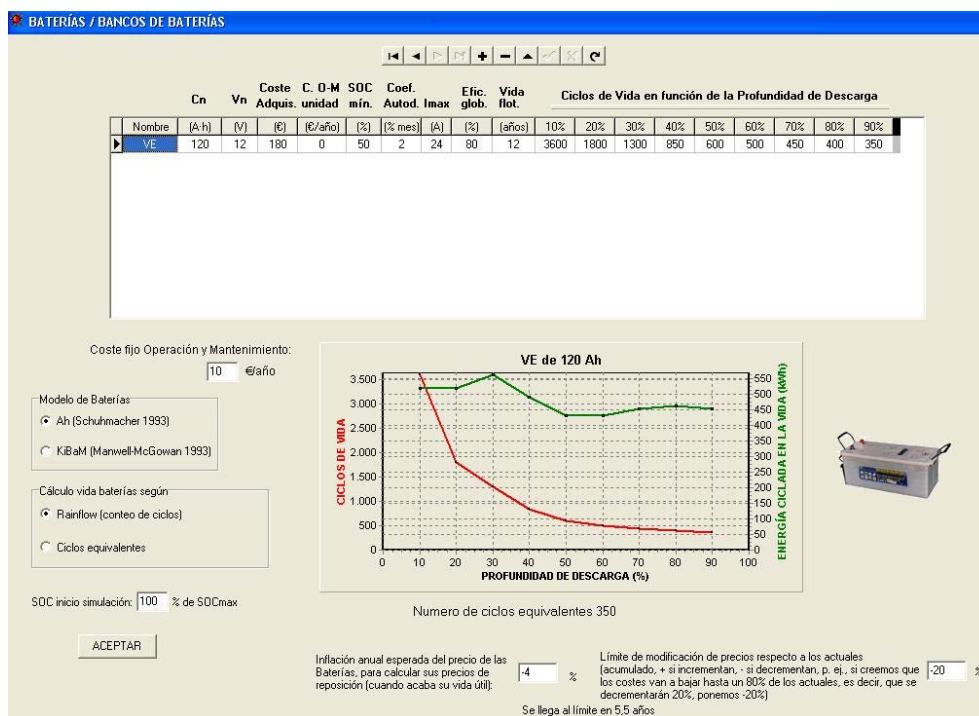


Figura 11. Pestaña de baterías.



HOGA ofrece la opción de introducir varias baterías para luego seleccionar la mejor combinación, igual que se hizo con los paneles fotovoltaicos. Aunque no se utilizará esta opción, se ha realizado el cálculo previamente y se necesitan cuatro baterías como la introducida, cuyas características se pueden observar en la figura 11.

### 9.1.5 Inversores

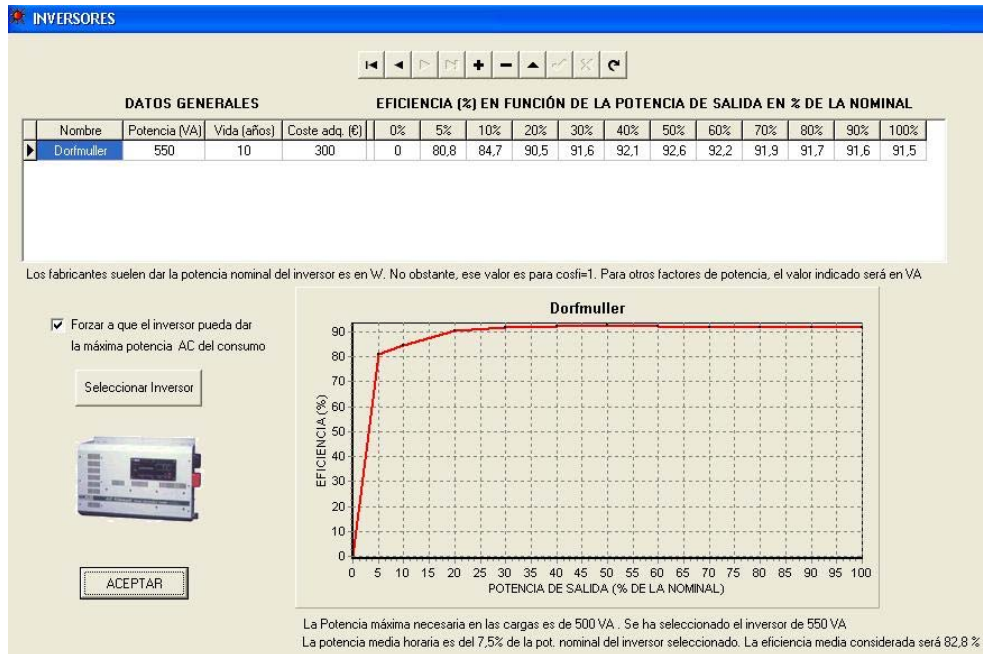


Figura 12. Pestaña de inversores.

En el caso de la pantalla de inversores, como se puede observar en la figura 12, también se introduce un solo inversor seleccionado previamente.

### 9.1.6 Equipos auxiliares

**EQUIPOS AUXILIARES**

**REGULADOR DE CARGA 12 V**

Coste de adquisición (€):  +  \* Ireg.max (A)

Tiempo de vida:  años

**RECTIFICADOR (CONV. AC/DC) 230 Vac / 12 Vdc**

Coste de adquisición (€):  +  \* Pnom (kW)

Tiempo de vida:  años

Eficiencia:  %

ACEPTAR

Maximiz.

Figura 13. Pestaña de equipos auxiliares.

Como se puede ver en la figura 13, en la pestaña de quipos auxiliares se introduce el coste del regulador de carga a utilizar y, si fuera necesario, el coste, el tiempo de vida y la eficiencia del rectificador. En este proyecto no se utiliza rectificador.

Una vez explicada la forma de introducir todos los datos necesarios en HOGA se van a mostrar los resultados obtenidos, para compararlos después con los hallados manualmente.

## **9.2. Dimensionamiento de la instalación**

Ahora se realizan de nuevo los cálculos de la instalación para Khartoum, Abu Simbel, Addis Abeba, Sevilla y Barcelona, pero mediante HOGA.

HOGA genera un informe de cada una de las configuraciones de componentes posibles, en los siguientes apartados se muestra la opción óptima para cada latitud. En el Anexo X (página 65) se adjuntan los informes generados por HOGA para cada ciudad anteriormente mencionada.

Se debe tener en cuenta que, al considerar la posibilidad de nubes, el cálculo de la instalación realizado por HOGA siempre será de una potencia nominal mayor que la hallada en el cálculo realizado a mano.

### ***Khartoum (Sudán)***

Potencial total :  $380Wp \rightarrow 4$  paneles en paralelo de  $95Wp$  de Schott Solar.

Baterías:  $5'7kWh$ .

Energía no servida:  $0kWh/año$ .

Utilización de la olla arrocera por la noche:

- Duración de la batería:  $4'94$  años.

Utilización de la olla arrocera por el día:

- Duración de la batería:  $5'86$  años.

### ***Abu Simbel (Egipto)***

Potencial total :  $400Wp \rightarrow 4$  paneles de  $100Wp$  de Schott Solar.

Baterías:  $5'7kWh$ .

Energía no servida:  $0'2kWh/año$  (unos 4 días).

Utilización de la olla arrocera por la noche:

- Duración de la batería:  $4'9$  años.

Utilización de la olla arrocera por el día:

- Duración de la batería:  $6'11$  años.



**Figura 14.** Día ejemplo de energía no suministrada en Abu Simbel.

En la gráfica de la figura 14 se puede observar uno de los días en que el sistema no proporciona la suficiente energía. Como la nevera nunca puede quedarse sin energía, se debe programar el regulador de carga de la batería de forma que esta siempre tenga la energía que necesita la nevera durante la noche. Pudiendo utilizar madera para cocinar en días como el representado en la figura 14.

### **Addis Abeba (Etiopía)**

Potencial total :  $440Wp \rightarrow 4$  paneles de  $110Wp$  de Suntech, 2 en serie y 2 en paralelo.

Baterías:  $5'7kWh$ .

Energía no servida:  $0kwh/año$ .

Utilización de la olla arrocera por la noche:

- Duración de la batería:  $4'93$  años.

Utilización de la olla arrocera por el día:

- Duración de la batería:  $6'79$  años.

### Sevilla (España)

Potencial total : 570Wp → 6 paneles de 95Wp de Schott, 2 en paralelo y 3 en serie.

Baterías: 5'7kWh.

Energía no servida: 0'6kwh/año (unos 3 días).

Utilización de la olla arrocera por la noche:

- Duración de la batería: 4'87 años.

Utilización de la olla arrocera por el día:

- Duración de la batería: 8'29 años.



Figura 15. Día ejemplo de energía no suministrada en Sevilla.

En este caso también hay energía no suministrada a lo largo del año, como se puede observar en la simulación del día 10 de diciembre (ejemplo) en la figura 15.

### Barcelona (España)

Potencial total : 1kWp → 10 paneles de 100Wp de Schott, 2 en paralelo y 5 en serie.

Baterías: 5'7kWh.

Energía no servida: 2'7kwh/año (unos 18 días).

Utilización de la olla arrocera por la noche:

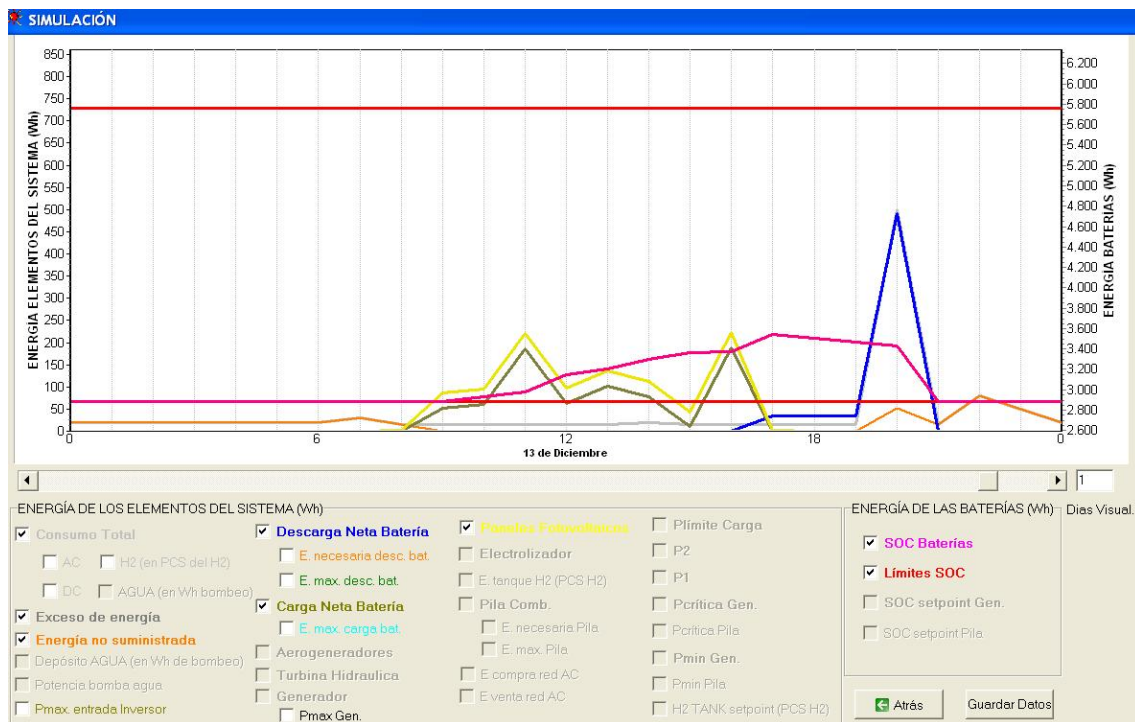
- Duración de la batería: 4'86 años.

Utilización de la olla arrocera por el día:

- Duración de la batería: 8'11 años.



En la figura 16 se ve representado uno de los días en que el suministro de energía no es suficiente para abastecer la demanda.



**Figura 16.** Día ejemplo de energía no suministrada en Barcelona.

En la tabla 11 se puede observar la diferencia en el dimensionamiento hallado a mano y con el software HOGA.

| Ciudad      | Latitud | Wp  | HOGA (Wp) |
|-------------|---------|-----|-----------|
| Khartoum    | 15      | 330 | 380       |
| Abu Simbel  | 22      | 356 | 400       |
| Addis Abeba | 9       | 422 | 440       |
| Sevilla     | 37      | 448 | 570       |
| Barcelona   | 41      | 594 | 1000      |

**Tabla 11.** Comparación resultados a mano y resultados con HOGA.

Como se preveía en un principio, las instalaciones calculadas mediante HOGA son de mayor potencia. Aunque no llega a ser una sobredimensión exagerada, simplemente se tiene en cuenta la posibilidad de que haya varios días seguidos nublados.

Según los resultados expuestos en la tabla 11, las instalaciones para latitudes entre 9 y 41 grados tendrán unas dimensiones de entre 400Wp y 1kWp.

## 10. COSTES

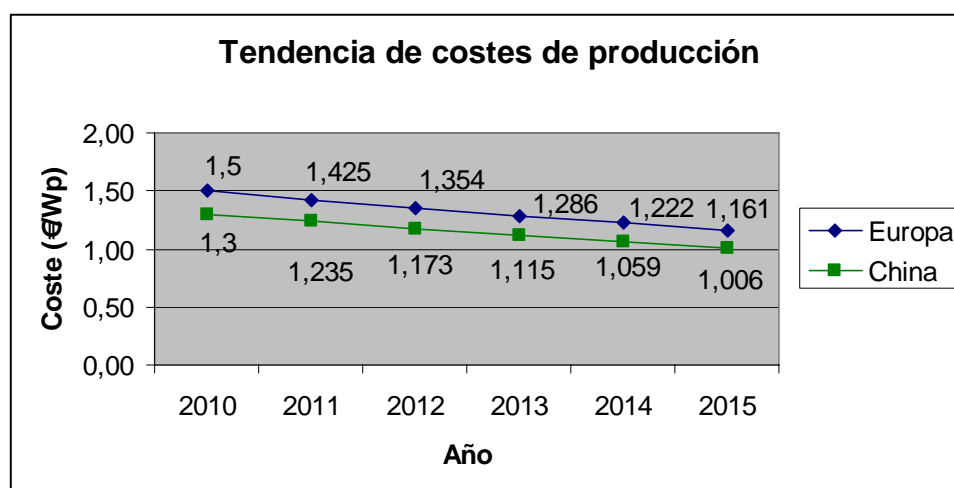
### 10.1 Paneles fotovoltaicos

En los cálculos de la instalación no se han tenido en cuenta los costes de los paneles fotovoltaicos, ya que los precios de éstos dependen de cada fabricante y lo que pacte éste con sus clientes.

La tendencia es que los costes de producción disminuyan con el tiempo una vez que los paneles han entrado en fase industrial. Por ejemplo, del 2008 al 2009 se produjo un descenso del 50%, esto tuvo lugar debido a la aparición de subvenciones para instalaciones fotovoltaicas en varios países. Aunque ahora el número de instalaciones se ha estabilizado, y por tanto, los costes de los paneles de silicio también lo han hecho y descenderán más lentamente, después del gran descenso ocurrido de 2008 a 2009.

Actualmente, los paneles de silicio constan de unos costes de producción de 1'5€/Wp en Europa y de 1'3€/Wp en China.

Se puede suponer una reducción de costes del 5% anual. Mediante esta suposición se obtiene la tendencia de costes de producción de la figura 17.



**Figura 17.** Reducción de costes de producción de los paneles fotovoltaicos de silicio.

Como se observa en la gráfica de la figura 16 en el año 2015 los costes de producción para un panel de silicio en China estarán en torno a 1€/Wp .

Además, el CIS, que ahora tiene unos costes muy elevados, podrá alcanzar unos costes de producción también de 1€/Wp cuando los fabricantes pasen a producción masiva.

### ***10.2 Baterías***

La batería seleccionada para su utilización en esta instalación, de la marca Victron Energy, tiene un coste aproximado de 180€, como son necesarias cuatro, el coste asciende a unos 720€. Aunque el mercado de baterías de este tipo es muy amplio y existen muchas otras opciones, este sólo es un ejemplo.

### ***10.3 Regulador de carga***

El coste de un regulador de carga es aproximadamente de unos 30€

### ***10.4 Inversor***

Se ha supuesto un valor aproximado del inversor de 300€, ya que este es el coste que rondan los inversores de 500W.

En los informes generados por HOGA (anexo X, página 65) se lleva a cabo el cálculo de la inversión inicial aproximada para la instalación. Como es de suponer el mayor coste es para la instalación en Barcelona, ya que es la ciudad que se encuentra a 41° de latitud. Aún así, esta inversión inicial es de 2360€, bastante asequible, aunque no se debe olvidar que se ha supuesto un coste de los paneles de 1€/Wp.

## 11. CONCLUSIONES

En primer lugar, se han definido los mercados potenciales en los que llevar a cabo el proyecto, según las necesidades de la zona y la posibilidad de los habitantes de costearse la instalación.

En segundo lugar, se ha hecho un análisis de la radiación solar que incide en las zonas de los principales mercados potenciales. Estos se encuentran aproximadamente en latitudes entre cero y cuarenta grados, es decir, en una localización con la irradiación adecuada para una instalación fotovoltaica aislada.

Para concluir, se ha realizado un cálculo genérico para las posibles instalaciones situadas aproximadamente entre cero y cuarenta grados de latitud, ya sea latitud norte o sur. Mediante los cálculos realizados, se puede concluir que es suficiente con instalaciones de potencia entre 400Wp y 1kWp, para abastecer de energía eléctrica un hogar con las necesidades básicas.

El correcto funcionamiento de una instalación fotovoltaica aislada depende principalmente de que su dimensionamiento sea el adecuado. Aunque también es importante hacer una utilización adecuada de la misma, a la vez que un buen mantenimiento.

En principio, el regulador de carga debe estar programado para que reserve en las baterías la carga necesaria para abastecer a la nevera durante la noche. A pesar de esto, el usuario de la instalación debe comprobar el estado de carga de las baterías antes de hacer uso de la olla arrocera (que es la mayor carga de la instalación), ya que siempre existe la opción de cocinar con madera, si no hubiera energía suficiente en las baterías.

Es importante hacer un buen mantenimiento de los paneles, esto consiste simplemente en cuidar que no se posen hojas, excesivo polvo u otros objetos que pudieran disminuir la captación de irradiación solar de los paneles.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas son una buena solución para las zonas sin acceso a la red eléctrica, que además poseen la radiación adecuada. Necesitan muy poco mantenimiento, que puede realizar el propio usuario. Además, tienen una vida útil de unos 25 años, salvo las baterías que se deben cambiar cada cinco o seis años.